



DOI: [10.29298/rmcf.v14i78.1336](https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i78.1336)

Artículo de investigación

Coeficiente mórfico de *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr. por tipo de bosque, Amazonía peruana

Morphic coefficient of *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr. according to forest type, Peruvian Amazon

Jorge Santiago Garate-Quispe^{1*}, Lili Florez-Castillo²

Fecha de recepción/Reception date: 23 de enero de 2023

Fecha de aceptación/Acceptance date: 2 de junio del 2023

¹Departamento Académico de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Perú.

²Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Perú.

*Autor para correspondencia; correo-e: jgarate@unamad.edu.pe

*Corresponding author; e-mail: jgarate@unamad.edu.pe

Resumen

El objetivo del estudio fue determinar y comparar el coeficiente mórfico (CM) y modelos alométricos para estimar volumen fustal de *Apuleia leiocarpa* en dos tipos de bosque en la Amazonía de Madre de Dios, Perú. Se utilizó un tamaño de muestra de 42 árboles talados de *A. leiocarpa*: 22 en bosques de colina baja y 20 en bosque de terraza baja. De cada individuo se midió su diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura del fuste, y se realizaron mediciones de diámetro a lo largo del fuste cada 2 m. Por tipo de bosque se determinó el coeficiente mórfico y se evaluaron 11 modelos no lineales para el volumen fustal comercial. El CM en el bosque de colina baja es significativamente superior al calculado en el bosque de terraza baja (t -Student, $p < 0.01$). El ANCOVA mostró que el CM varía significativamente entre los dos tipos de bosque. El DAP no influyó de forma significativa en el CM ($p > 0.05$), aunque sí la interacción entre bosque \times DAP ($p < 0.05$). El mejor modelo alométrico para estimar el volumen varía según el tipo de bosque, en el bosque de colina baja fue el modelo de *Takata* y en el bosque de terraza baja fue el modelo de *Spurr* con término independiente.

Palabras clave: Alometría, Amazonía, ecuaciones de volumen, factor de forma, regresión, volumen maderable.

Abstract

The objective of the study was to determine and compare the morphic coefficient (MC) and allometric models in order to estimate the forest volume of *Apuleia leiocarpa* in two forest types in the *Madre de Dios* region of the Peruvian Amazonia. A sample size of 42 felled *A. leiocarpa* trees was used: 22 in low-hill forest, and 20 in low-terrace forest. The diameter at breast height (DBH) and the stem height of each individual were measured, and diameter measurements were taken along the stem every 2 m. The morphic coefficient was determined by forest type, and 11 nonlinear models were assessed for determining the merchantable forest volume. The MC in the low-hill forest is significantly higher than that calculated in the low-terrace forest (t -Student, $p < 0.01$). The ANCOVA showed that the MC varied significantly between the two forest types. The DBH did not exert a significant influence on the MC ($p > 0.05$); however, the interaction between the forest type and the DBH was significant ($p < 0.05$). The best allometric model for estimating the merchantable forest volume was Takata's model for the low-hill forest, while Spurr's model with independent term was the best for the low-terrace forest.

Key words: Allometry, Amazonia, volume equations, shape factor, regression, timber volume.

Introducción

Los bosques tropicales de la Amazonía son los ecosistemas más complejos del planeta porque soportan a la mayor biodiversidad y productividad del mundo (Bowman *et al.*, 2022). Estos bosques brindan importantes servicios para el mantenimiento de los ecosistemas y el desarrollo económico-social peruano, como la industria forestal (Tito, 2022). Con el incremento de la demanda de madera, una de las formas para asegurar el manejo forestal sostenible es el uso de modelos alométricos para la estimación del volumen maderable (Fan *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020).

A nivel mundial, Perú ocupa el noveno lugar en superficie forestal, posee 73.3 millones de hectáreas de bosques tropicales (Rojas *et al.*, 2020). Del total de bosques tropicales peruanos, 10 % están considerados como concesiones de aprovechamiento maderable (Minam, 2015). La región Madre de Dios es reconocida como la capital de la biodiversidad del Perú (Fuentes *et al.*, 2022), y es la segunda región del país (85 301 km²) con mayor producción de madera en rollo (>300 000 m³ año⁻¹) (Pacheco *et al.*, 2016).

Apuleia leiocarpa (Vogel) J. F. Macbr. (ana caspi) es una de las especies con aprovechamiento intensivo y mayor volumen extraído (4 300 m³ año⁻¹) (Pacheco *et al.*, 2016) debido a la alta densidad de su madera (0.70 g cm⁻³) y elevado valor extractivo, por lo que una evaluación correcta y precisa del cálculo de su volumen, a nivel de árbol individual, permitiría su aprovechamiento sostenible (García *et al.*, 2016).

El coeficiente mórfico (*CM*) es un factor de reducción de un sólido de referencia hacia la forma real de un árbol (Ikonen *et al.*, 2006), la forma cilíndrica es la más

usada (Tlaxcala-Méndez *et al.*, 2016); se obtiene al dividir el volumen real del fuste entre el volumen de un cuerpo geométrico convencional con el mismo diámetro y altura que la sección normal de un árbol (Furlan *et al.*, 2010). El *CM* se ha utilizado desde hace varias décadas en muchos países de Latinoamérica dedicados a la actividad forestal maderable a falta de modelos específicos de volumen para las especies aprovechadas (Costa *et al.*, 2016; Fan *et al.*, 2020).

La estimación precisa del volumen comercial de árboles en pie es fundamental para el aprovechamiento sostenible de los bosques (Tamarit *et al.*, 2014; Mendes *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020). El *CM* de los árboles se considera una alternativa importante para la estimación del volumen (Colgan *et al.*, 2014; García *et al.*, 2016), porque para determinarlo en los árboles en pie se utilizan el *DAP*, la altura comercial y el *CM* de la especie (García *et al.*, 2016).

En Perú, actualmente se usan modelos alométricos generales para estimar el volumen maderable en los cuales se emplea un único *CM* para todas las especies (Malata *et al.*, 2017). Para taxones tropicales se aplica un *CM* o factor de forma de 0.75 (Guzmán-Santiago *et al.*, 2020); en Perú, la autoridad forestal nacional establece un *CM* de 0.65 (Del Mar, 2021); sin embargo, tener un *CM* general para todas las especies podría sobreestimar o subestimar el volumen maderable (Azevêdo *et al.*, 2014).

Otra forma de estimar el volumen comercial es mediante modelos alométricos específicos (Malata *et al.*, 2017). Las ecuaciones alométricas que se derivan de modelos de regresión lineales o no lineales, permiten estimar el volumen del fuste a partir de mediciones de diámetro y altura (Gúzman-Santiago *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020). En estudios previos, se señala que las ecuaciones no lineales pueden describir mejor las tendencias de volumen, por lo tanto, son más eficaces que los modelos lineales (Gúzman-Santiago *et al.*, 2020). Los modelos de *Spurr*, *Schumacher-Hall* y *Husch* son los más utilizados en la Amazonía (Costa *et al.*, 2016;

Mendes *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2021). Sin embargo, debido a la alta diversidad de ecosistemas y especies de los bosques amazónicos, es necesario desarrollar modelos alométricos específicos por taxón y que incluyan diferentes condiciones de sitio (Aguilar *et al.*, 2017; Miranda *et al.*, 2021).

Por otro lado, el espesor de la corteza es una variable fundamental en la medición forestal (Reis *et al.*, 2020). Durante el manejo forestal maderable es importante realizar estimaciones del volumen comercial sin corteza (Berrill *et al.*, 2020), por ello es relevante conocer el espesor de corteza para que las estimaciones del volumen sin corteza sean precisas. En tanto, las estimaciones la albura y duramen de los árboles son importantes tanto en la industria de la madera como para los modelos dinámicos de vegetación, porque determinan la estabilidad biomecánica, así como el transporte de nutrimentos y agua (Aye *et al.*, 2022). Al respecto, estudios sobre la formación de duramen y sus proporciones a lo largo del fuste son aún escasos, razón por la cual se tiene poca información sólida para el desarrollo de prácticas silvícolas, sobre todo que el duramen es la parte más valiosa de las especies tropicales, ya que influye de manera determinante en el precio de la madera (Meupong *et al.*, 2021).

Además, para la estimación del volumen comercial es vital considerar que las especies tienen diferente respuesta de crecimiento a diversas condiciones de sitio (Molina-Valero *et al.*, 2019; Mendes *et al.*, 2020), lo cual es otro factor que incide en la variación del *CM*. En este contexto, el presente estudio tuvo por objetivo determinar y comparar tanto el *CM*, así como 11 modelos alométricos para estimar volumen fustal de árboles de *A. leiocarpa* en dos tipos de bosque en la Amazonía que comprende la región Madre de Dios, Perú. Adicionalmente, se evaluaron diferencias en las variables altura, *DAP*, volumen fustal, espesor de albura, espesor de duramen (*ED*) y espesor de corteza entre los tipos de bosque, y se analizó la influencia del tipo de bosque en el *CM*.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en dos concesiones forestales para el manejo y aprovechamiento de productos diferentes a la madera (recolección de castaña o nuez del Brasil), ubicados en el distrito de Tambopata, provincia Tambopata, región Madre de Dios, Perú. Con base en el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del Ministerio del Ambiente del Perú (Minam, 2015), en el área de estudio se identificaron el bosque de colina baja ($12^{\circ}6'31.16''$ S y $69^{\circ}33'17.96''$ O) y el bosque de terraza baja ($12^{\circ}11'18.85''$ S y $69^{\circ}23'5.94''$ O). Las dos concesiones fueron Fredy Turpo y Maritza Callo; la primera tiene una extensión de 634 ha y se ubica en bosque de colina baja, de la segunda concesión se consideró solo la parte de bosque de terraza baja, con una extensión de 550 ha (Figura 1).

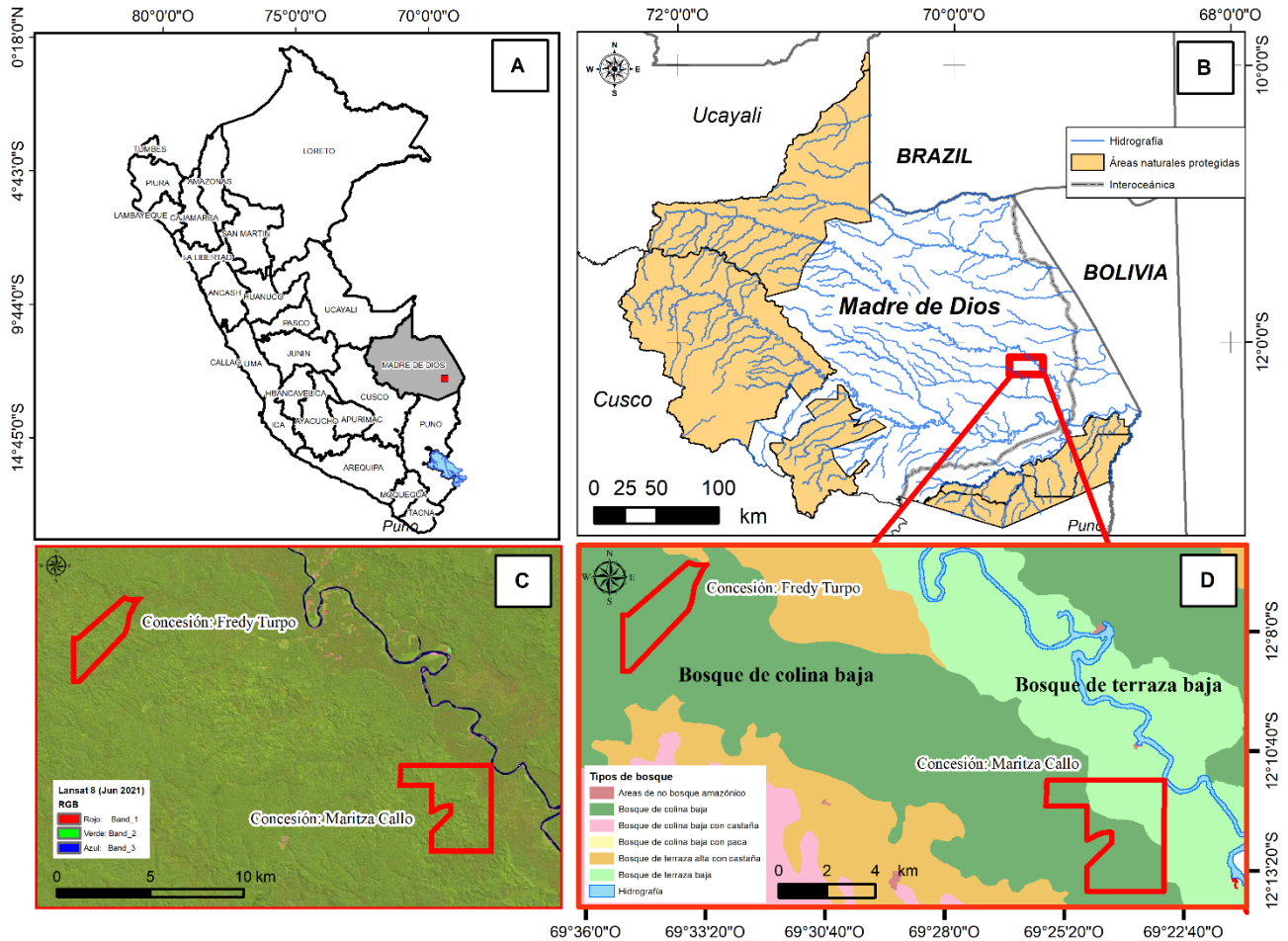


Figura 1. Ubicación del área de estudio en la provincia Tambopata, región Madre de Dios, Perú (A y B), para las zonas que corresponden a las concesiones Fredy Turpo y Maritza Callo (C y D).

Recolección de datos

Se colectó una muestra de 42 árboles de *A. leiocarpa*: 22 en bosque de colina baja y 20 en terraza baja. Solo se incluyeron árboles con un diámetro a la altura del

pecho (*DAP*) mayor a 41 cm, equivalente al diámetro mínimo de corta para aprovechamiento comercial maderable establecido en la normativa forestal de Perú (Del Mar, 2021), por lo que únicamente se analizó información de ejemplares comerciales. Cada individuo fue derribado y se midieron la longitud del fuste (altura del fuste) con un flexómetro *Stanley FatMax*[®] Pro-FMHT33100-0, el diámetro con una forcípula *Haglöf*[®] (Mantax Blue) cada 2 m a lo largo del fuste (Aguilar *et al.*, 2017) sin seccionarlo en trozas. En la base del fuste, con el flexómetro se realizaron dos mediciones de corteza, y se registró en centímetros el espesor de albura y de duramen para calcular el porcentaje de albura y duramen, cuya referencia fue el diámetro del fuste. El volumen de cada sección se estimó con la ecuación de *Smalian* (Guzmán-Santiago *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2021), y el volumen fustal se obtuvo de la sumatoria de todas las secciones.

Análisis de datos

Con base en la forma del fuste de *A. leiocarpa* observado en campo, se utilizó al cilindro para el cálculo del coeficiente mórfico (Guzmán-Santiago *et al.*, 2020), para ello se usó la siguiente expresión:

$$CM = \frac{V_R}{V} \quad (1)$$

Donde:

CM = Coeficiente mórfico

V_R = Volumen real del fuste

V = Volumen del s3lido del cilindro con 3rea de la base igual al 3rea basal del 3rbol e igual altura.

Se evaluaron diferencias en las variables altura, *DAP*, volumen fustal, espesor de albura, espesor de duramen y espesor de corteza entre los tipos de bosque mediante la prueba *t-Student* de dos colas si se cumpl3an con los supuestos param3tricos (normalidad y homocedasticidad), y la prueba de *Mann-Whitney* cuando no (Berger *et al.*, 2018), en ambos casos se utiliz3 un nivel de significancia de 5 %. Por otro lado, en una muestra se aplic3 la prueba *t-Student* para comparar los valores del *CM* estimados con respecto al *CM* establecido por la autoridad nacional peruana y al citado en investigaciones previas (Del Mar, 2021; Lozano y Bonilla 2022) para fuste cil3ndrico con *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f., especie con forma del fuste similar a *A. leiocarpa* (Lozano y Bonilla, 2022).

Para analizar la relaci3n entre el *DAP*, altura, espesor de corteza, espesor y proporci3n de albura y duramen se llev3 a cabo un an3lisis de correlaci3n para cada tipo de bosque; estos fueron representados en una matriz de correlaciones mediante coeficientes de correlaci3n de *Pearson* y *Spearman* (no param3trico). A partir de las variables que se correlacionaron de forma significativa, se ajustaron modelos de regresi3n lineal simple. Tambi3n se aplic3 un an3lisis de covarianza (ANCOVA) para analizar la influencia del tipo de bosque en el *CM*, en el cual el *DAP* fue la covariable, as3 como la interacci3n tipo de bosque-di3metro.

Para estimar el volumen se evaluaron 11 modelos alom3tricos de tipo no lineal (Cuadro 1), se consideraron funciones de volumen sugeridas por Guzm3n-Santiago *et al.* (2020), Ogana *et al.* (2020) y Reis *et al.* (2020).

Cuadro 1. Modelos alométricos no lineales ajustados para estimar el volumen fustal de *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr.

Expresión del modelo	Nombre	Etiqueta
$V_f = \beta_0 DAP^{\beta_1} \times H^{\beta_2} + \varepsilon$	<i>Schumacher-Hall</i>	M1
$V_f = \beta_0 DAP^2 \times H + \varepsilon$	<i>Spurr</i>	M2
$V_f = \beta_0 (DAP^2 \times H)^{\beta_1} + \varepsilon$	<i>Spurr Potencial</i>	M3
$V_f = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 \times H + \varepsilon$	<i>Spurr con término independiente</i>	M4
$V_f = \beta_0 + \beta_1 H + \beta_2 DAP^2 \times H + \varepsilon$	Variable combinada	M5
$V_f = (DAP^2 / (\beta_0 + (\frac{\beta_1}{H}))) + \varepsilon$	<i>Honer</i>	M6
$V_f = (DAP^2 \times \frac{H}{(\beta_0 + \beta_1 \times DAP)}) + \varepsilon$	<i>Takata</i>	M7
$V_f = \beta_0 + \beta_1 (DAP^2) + \beta_2 (DAP^2 \times H) + \beta_3 H + \varepsilon$	<i>Stoate</i>	M8
$V_f = DAP^2 \times (\beta_0 + \beta_1) + \varepsilon$	<i>Ogaya</i>	M9
$V_f = \beta_0 DAP^2 + \beta_1 DAP^2 \times H + \beta_2 (DAP \times H) + \beta_3 H^2 + \varepsilon$	<i>Näslund</i>	M10
$V_f = \beta_0 DAP^{\beta_1} + (\beta_1 DAP^2 \times H)^{\beta_2} + \varepsilon$	<i>Meyer</i>	M11

V_f = Volumen fustal; DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm); H = Altura fustal (m); β_i = Coeficientes del modelo; ε = Error del modelo.

Para discriminar entre los mejores modelos no lineales se utilizaron los siguientes estadísticos de ajuste criterios: raíz del cuadrado medio del error (*RCME*), cuadrado medio del error (*CME*), criterio de información de *Akaike* (*AIC*) y criterio de información bayesiano (*BIC*) (Ogana *et al.*, 2020; Reis *et al.*, 2020). Los mejores modelos se seleccionaron mediante el método de jerarquización de modelos (Tamarit *et al.*, 2014; Ogana *et al.*, 2020), en el cual se asignaron valores de 1 a 11

a cada modelo por estadístico de ajuste, mismos que fueron ordenados de forma descendente, donde 1 fue el mejor valor y el más bajo. Para la calificación final se sumaron todos los valores obtenidos y se consideró como mejor aquel modelo que tuvo el menor valor (Reis *et al.*, 2020; Ogana *et al.*, 2020).

Todos los análisis y las figuras se efectuaron con los programas estadísticos R v4.2.2 en el entorno de *R-Studio* v12 (R Core Team, 2022), *InfoStat* (InfoStat, 2022) y *SigmaPlot* v14 (Inpixon, 2022). En R se utilizaron los paquetes *ggplot2*, *AICcmoavg*, *HH* y *PerformanceAnalytics*.

Resultados y Discusión

Los estadísticos descriptivos de las variables que corresponden a la muestra de árboles que se analizó por concesión se presentan en el Cuadro 2. También se muestran las diferencias significativas al aplicar las pruebas *T-Student* y *Mann-Whitney*.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables medidas en árboles de *Apuleia leiocarpa* por tipo de bosque y pruebas de *T-Student* y de *Mann-Whitney* para los valores promedio.

Variable	Tipo de bosque	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	SD	CV
Altura del fuste (m) [†]	BCb	8.15	21.17	14.97 b	15.14	2.83	18.93
	BTb	11.84	24.86	17.58 a	18.60	2.95	16.81
DAP (cm) [†]	BCb	56.00	151.00	86.55 a	80.00	22.10	25.53
	BTb	54.00	133.00	87.85 a	85.00	20.36	23.17
Espesor de albura (cm) [‡]	BCb	2.00	7.00	3.45 a	3.00	1.22	35.43
	BTb	2.00	6.00	3.85 a	4.00	0.99	25.66

Proporción de albura (%) [†]	BCb	3.80	17.10	8.00 a	7.90	3.13	39.13
	BTb	5.00	16.70	9.22 a	8.10	2.89	31.32
Espesor de duramen (cm) [‡]	BCb	26.00	77.00	41.59 a	40.00	11.63	27.96
	BTb	25.00	57.00	39.05 a	38.00	8.00	20.49
Proporción de duramen (%) [†]	BCb	82.90	96.30	92.01 a	92.10	3.14	3.41
	BTb	83.30	95.00	90.78 a	91.90	2.89	3.18
Espesor corteza (mm) [†]	BCb	0.50	2.55	1.38 a	1.51	0.50	35.89
	BTb	0.70	2.20	1.28 a	1.19	0.44	34.58
Volumen fustal (m ³) [‡]	BCb	2.48	16.36	7.47 a	6.09	3.82	51.12
	BTb	3.59	16.88	7.76 a	6.45	3.48	44.84

BCb = Bosque de colina baja; BTb = Bosque de terraza baja; *DAP* = Diámetro a la altura del pecho; *SD* = Desviación estándar; *CV* = Coeficiente de variación (%). Letras diferentes muestran diferencias significativas con la prueba *T-Student* ([†]) y *Mann-Whitney* ([‡]).

Coeficiente mórfico por tipo de bosque

En promedio, los árboles de *A. leiocarpa* en el bosque de terraza baja tuvieron mayor *DAP*, altura de fuste y espesor de albura que en el bosque de colina baja, aunque solo la altura de fuste fue estadísticamente significativa (*T-Student*, $p < 0.01$). En contraparte, los árboles del bosque de colina baja tuvieron un espesor de corteza y duramen ligeramente superior respecto a los del bosque de terraza baja, aunque esta diferencia estadísticamente fue no significativa (*T-Student*, $p > 0.05$) (Cuadro 2).

Los árboles en el bosque de colina baja tuvieron un *CM* de 0.88 ± 0.07 significativamente mayor (*T-Student*, $p < 0.01$) a los del bosque de terraza baja de

0.79 ± 0.10 , lo que representó 11.4 % más. En el bosque de colina baja, ninguna de las variables del árbol analizadas se correlacionó significativamente con el *CM* (*Pearson*, $p > 0.05$). Sin embargo, en el de terraza baja los árboles de menor diámetro evidenciaron una tendencia a un mayor *CM* debido a que se obtuvo una relación inversa y significativa entre el *CM* y el diámetro del fuste ($r = -0.47$, $p < 0.05$) (Figura 2).

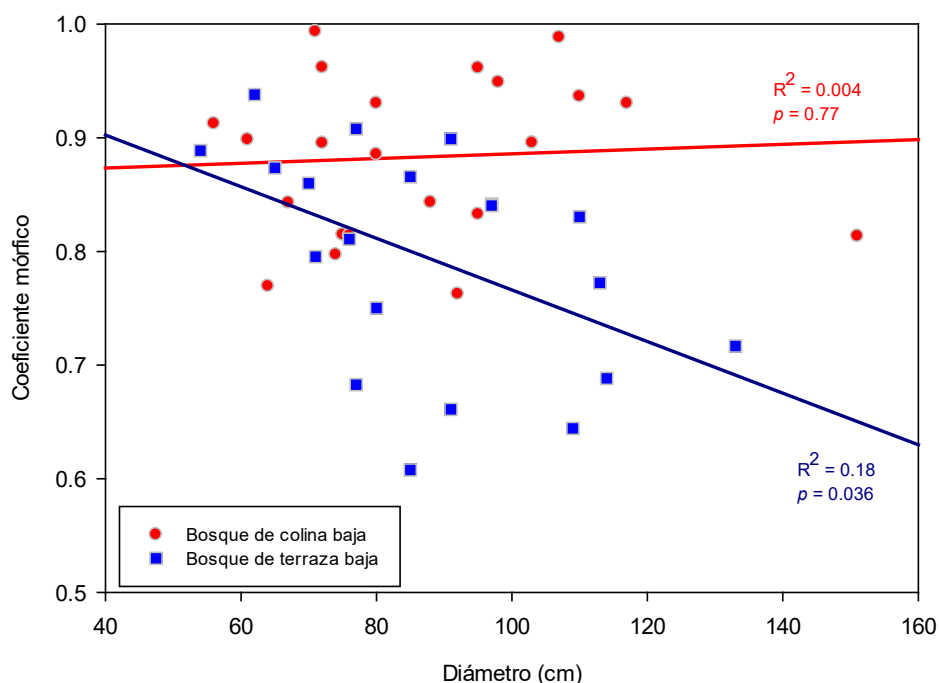


Figura 2. Gráfico de dispersión y línea de regresión lineal simple ajustada del modelo entre el diámetro fustal y el coeficiente mórfico por tipo de bosque.

El ANCOVA mostró que el *CM* varía significativamente entre los dos tipos de bosque, el cual explica 22 % de la variabilidad del *CM* ($p < 0.001$, Cuadro 3). El *DAP* no influyó en el *CM* ($p > 0.05$), aunque sí la interacción entre Bosque \times Diámetro ($p = 0.046$). Esto sugiere que la relación entre el diámetro y el *CM* varía según el tipo de bosque, la que es directa y no significativa en el bosque de colina baja e inversa

y significativa en el de terraza baja (Cuadro 3, Figura 2). El modelo de regresión ajustado expresado como $CM=0.993-0.00227 \times DAP$ solo fue significativo para el bosque de terraza baja ($R^2=0.18$ y $p<0.05$).

Cuadro 3. Resultados del ANCOVA: variable dependiente al coeficiente mórfico, bosque como factor y diámetro a la altura del pecho (*DAP*) como covariable.

Variable	Coefficientes	Suma de cuadrados	F	p
Intercepto	0.8649			
Tipo de bosque	0.1283	0.084	12.99	<0.001
<i>DAP</i>	0.0002	0.014	2.12	0.153
Tipo de bosque×Diámetro	-0.0025	0.027	4.26	0.046

La prueba *t-Student* para una muestra y $p<0.01$ evidenció que los promedios de *CM* obtenidos de 0.79 a 0.88 fueron significativamente superiores al establecido por la autoridad forestal peruana de 0.65 (Del Mar, 2021) (Figura 3), así como al promedio citado para especies con fuste cilíndrico (Lozano y Bonilla, 2022). En la comparación del *CM* contra el registrado de 0.82 para *Dipteryx odorata*, especie con características similares en cuanto a fuste recto, cilíndrico y con desprendimiento de la corteza en placas irregulares (Lozano y Bonilla, 2022), se observó que tal valor fue ligeramente superior al determinado en el bosque de terraza baja ($p>0.05$) y significativamente inferior al del bosque de colina baja ($p<0.01$) (Figura 3). Aguilar *et al.* (2017) refieren que las variaciones en las características del fuste en distintas especies influyen en el *CM*; en el presente estudio, los altos valores de *CM* se deben a que *A. leiocarpa* tiene un fuste recto, cilíndrico, irregular y con baja reducción del diámetro a lo largo. Además, el crecimiento y la forma del fuste es similar a *D. odorata* que también tiene un *CM* alto.

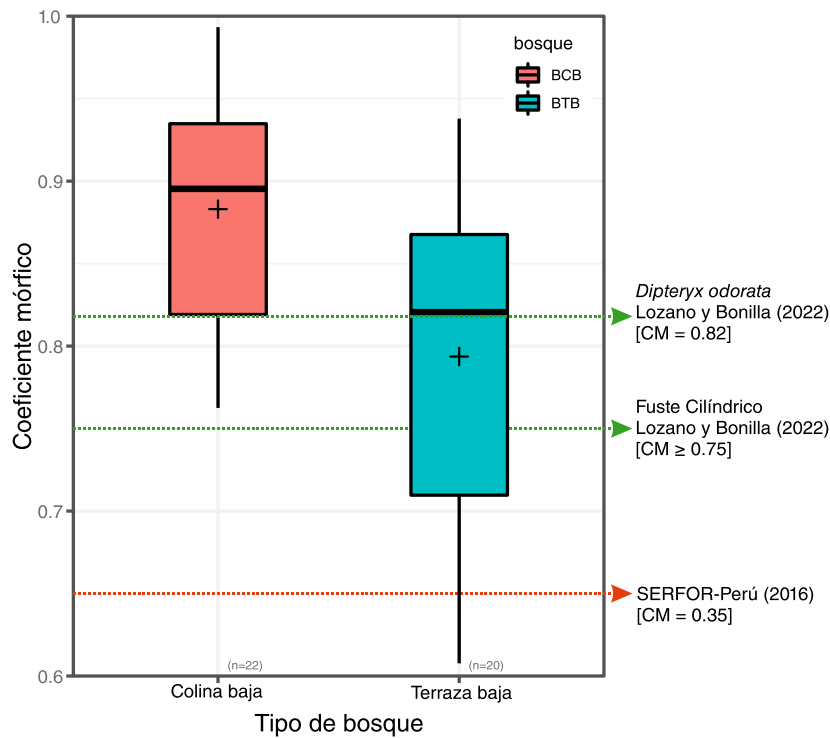


Figura 3. Comparativo gráfico del coeficiente mórfico de *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr. en dos tipos de bosque y comparación con valores de referencia.

Relación albura-duramen

Con base en el tipo de bosque, no se observaron diferencias significativas para el espesor de albura y duramen, ni en la proporción de albura y duramen ($p < 0.05$, Cuadro 4). La altura del fuste y el espesor de corteza no se correlacionaron de forma significativa con el espesor de albura, duramen y sus proporciones ($p < 0.05$), sin embargo, el *DAP* sí se correlacionó significativamente con la proporción de

albura, con el duramen y con la proporción de duramen, aunque este varió en función al tipo de bosque (Cuadro 4).

Cuadro 4. Matriz de correlación entre las características dasométricas con el espesor y proporción de albura y duramen de árboles de *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr. por tipo de bosque.

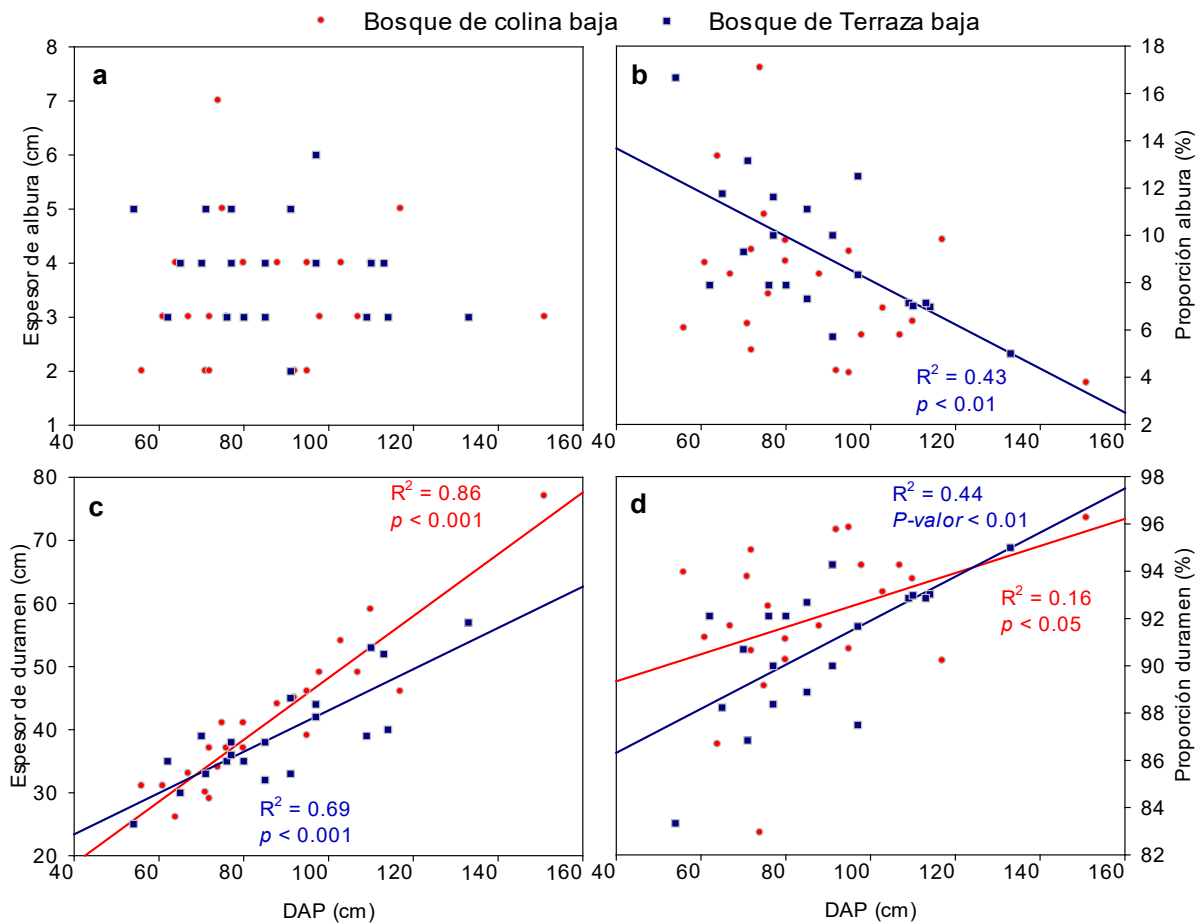
Tipo de bosque	Altura (m)	Diámetro	Espesor corteza (mm)	Albura (cm)	Proporción albura (%)	Duramen (cm)
(a) De colina baja						
Diámetro	-0.14¥					
Espesor corteza (mm)	0.11¥	0.00¥				
Espesor de albura (cm)	-0.13†	0.25†	0.08†			
Proporción albura (%)	-0.06¥	-0.40¥	0.09¥	0.78†*		
Espesor de duramen (cm)	0.04†	0.93†*	-0.14†	0.15†	-0.49†*	
Proporción duramen (%)	0.06¥	0.40¥	-0.09¥	-0.78†	-1.00¥*	0.47†*
(b) De terraza baja						
Diámetro	-0.09¥					
Espesor corteza (mm)	-0.31¥	0.03¥				
Espesor de albura (cm)	-0.03†	-0.22†	-0.03†			
Proporción albura (%)	0.00¥	-0.66¥*	0.10¥	0.80†*		
Espesor de duramen (cm)	-0.05¥	0.83¥*	-0.10¥	0.03†	-0.59¥*	
Proporción duramen (%)	0.00¥	0.66¥*	-0.10¥	-0.80†*	-1.00¥*	0.59¥*

¥ = Coeficiente de correlación de *Pearson*. † = Coeficiente de correlación de *Spearman*. * = $p < 0.05$.

En el bosque de colina baja, solo se obtuvo relación significativa entre el *DAP* y el espesor de duramen ($\rho=0.93$, $p < 0.05$), mientras que en el bosque de terraza baja, el *DAP* se correlacionó de forma significativa con la proporción de albura ($r=-0.66$, $p < 0.05$), con el espesor de duramen ($r=0.83$, $p < 0.05$) y con la proporción de duramen ($r=0.66$, $p < 0.05$). Esto tiene implicaciones en la calidad de la madera de *A. leiocarpa* según el tipo de bosque, porque en el de terraza baja al existir una

relación significativa entre el *DAP* y la albura, se espera un mayor espesor y más proporción de albura que en el bosque de colina baja (Aye *et al.*, 2022).

La Figura 4 muestra la tendencia tanto del espesor de albura y duramen, como de la proporción de albura y duramen con relación al *DAP*. Se determinó que el espesor de albura no se relaciona con el *DAP* en ningún tipo de bosque. Por su parte, se observó que el espesor de duramen en los dos tipos de bosque se incrementa en función del *DAP*, aunque el coeficiente de determinación es mayor en el bosque colina baja ($R^2=0.86$) que en el de terraza baja ($R^2=0.69$). Asimismo, la proporción de duramen mantiene una relación lineal y directa, mientras que en la proporción de albura es inversa. Lo anterior se debe a que el duramen está relacionado de forma directa con la edad y diámetro de los árboles, además su formación puede afectarse por factores exógenos y endógenos, como la densidad o número árboles, (distanciamiento), diámetro de copa, contenido de compuestos químicos extractivos, entre otros (Kang *et al.*, 2001; Piqueras *et al.*, 2019).



(a) = Entre el *DAP* con el espesor de albura; (b) = Entre el *DAP* con la proporción de albura; (c) = Entre el *DAP* con el espesor de duramen; (d) = Entre el *DAP* con la proporción de duramen.

Figura 4. Gráficos de dispersión y tendencia por tipo de bosque.

El duramen determina el valor económico de la madera, y la albura está estrechamente relacionada con las funciones fisiológicas de los árboles (Meunpong *et al.*, 2021), por lo tanto, será importante para el aprovechamiento forestal realizar estimaciones del espesor de duramen a partir de variables de fácil medición como el *DAP* (Yang *et al.*, 2020). En el presente estudio, el espesor de duramen (*ED*) estuvo directamente relacionado con el *DAP*, por lo que los modelos generados podrían

utilizarse para efectuar estimaciones del *ED*. El modelo lineal para estimar el espesor de duramen en bosque de colina baja fue:

$$ED = -0.86477 + 0.49056(DAP) \quad (2)$$

Donde:

ED = Espesor del duramen

DAP = Diámetro a la altura del pecho (m)

En tanto que para el bosque de terraza baja fue:

$$ED = 10.28 + 0.32749(DAP) \quad (3)$$

Donde:

ED = Espesor del duramen

DAP = Diámetro a la altura del pecho (m)

Modelos para estimación del volumen fustal

En los dos tipos de bosques, los 11 modelos ajustados para estimar el volumen fueron significativos ($p < 0.05$) con bajos valores en la raíz del cuadrado medio del error (en

bosque de colina baja de hasta 0.88 y en bosque de terraza baja de hasta <1.088). En los dos tipos de bosque, los modelos que generaron valores más bajos de *RCME* fueron *Takata*, *Spurr*, *Spurr* Potencial y *Spurr* con término independiente (Cuadro 5).

Cuadro 5. Estadísticos de ajuste, comparación y jerarquización de los modelos de volumen ajustados para *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J. F. Macbr. por tipo de bosque.

Modelo	Coeficiente				Estadístico de ajuste				Calificación total
	β_0	β_1	β_2	β_3	<i>RCME</i>	<i>CME</i>	<i>AIC</i>	<i>BIC</i>	
(a) Bosque de colina baja									
M1 <i>Schumacher-Hall</i>	0.835	1.897	0.916		0.858	0.855	63.763	68.127	6
M2 <i>Spurr</i>	0.665				0.879	0.81	60.785	62.967	2
M3 <i>Spurr</i> Potencial	0.76	0.951			0.861	0.815	61.829	65.102	3
M4 <i>Spurr</i> con término independiente	0.255	0.647			0.872	0.837	62.41	65.683	4
M5 Variable combinada generalizada	0.637	-0.029	0.649		0.868	0.873	64.23	68.594	11
M6 <i>Honer</i>	0.001	1.483			0.88	0.851	62.774	66.047	7
M7 <i>Takata</i>	1.366	0.129			0.857	0.808	61.636	64.909	1
M8 <i>Stoate</i>	3	-3.337	0.903	-0.207	0.846	0.875	65.083	70.538	10
M9 <i>Ogaya</i>	-0.0028	0.665			0.88	0.851	62.785	66.058	8
M10 <i>Näslund</i>	-1.469	0.58	0.344	-0.01	0.824	0.832	63.962	69.417	5
M11 <i>Meyer</i>	0.835	0.066	0.916		0.858	0.855	63.763	68.127	9
(b) Bosque de terraza baja									
M1 <i>Schumacher-Hall</i>	0.608	1.706	0.973		0.965	1.095	63.323	67.306	6
M2 <i>Spurr</i>	0.558				1.088	1.248	64.155	66.147	7
M3 <i>Spurr</i> Potencial	0.826	0.865			0.975	1.057	61.763	64.75	3
M4 <i>Spurr</i> con término independiente	1.144	0.49			0.964	1.034	61.317	64.304	1
M5 Variable combinada generalizada	0.563	0.039	0.485		0.958	1.081	63.063	67.046	4
M6 <i>Honer</i>	-0.009	1.94			1.085	1.308	66.015	69.002	10
M7 <i>Takata</i>	1.244	0.525			0.97	1.045	61.527	64.515	2
M8 <i>Stoate</i>	0.358	0.258	0.47	0.051	0.958	1.148	65.061	70.04	9
M9 <i>Ogaya</i>	0.584	0.524			1.086	1.309	66.041	69.028	11
M10 <i>Näslund</i>	5.428	0.393	-0.42	0.015	0.913	1.043	63.139	68.117	5

M11 Meyer	0.608	-0.24	0.973	0.965	1.095	63.323	67.306	8
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	---

RCME = Raíz del cuadrado medio del error; *CME* = Cuadrado medio del error; *AIC* = Criterio de información de Akaike; *BIC* = Criterio de información bayesiano.

Con base en la jerarquización de modelos se determinó que el mejor modelo para la estimación del volumen fustal en el bosque de colina baja fue el de *Takata* expresado de la siguiente forma:

$$V_f = (DAP^2 \times \frac{H}{(1.366 + 0.129 \times DAP)}) \quad (4)$$

Donde:

V_f = Volumen fustal

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

H = Altura (m)

El cual presentó el valor más bajo de la calificación total (8 puntos), seguido por el modelo de *Spurr* (13 puntos) y el *Spurr* potencial (15 puntos). Para el caso del bosque de terraza baja, el mejor modelo fue el de *Spurr* con término independiente expresado como:

$$V_f = 1.144 + 0.490DAP^2 \times H \quad (5)$$

Donde:

V_f = volumen fustal

DAP = diámetro a la altura del pecho (cm)

H = Altura (m)

Mismo que presentó el valor más bajo de la calificación total (7 puntos), seguido por el de *Takata* (14 puntos) y el de *Spurr* potencial (18 puntos). Estos modelos presentaron los valores más bajos en *RCME*, *AIC* y *BIC*. Los criterios *AIC* y *BIC* son ampliamente utilizados para seleccionar el modelo más simple con el mayor poder explicativo en los que se busca un balance entre la capacidad predictiva y la cantidad de parámetros que este debe tener para lograr un ajuste óptimo, por lo que tales estadísticos premian a los modelos a medida que aumentan la varianza explicada, pero simultáneamente los penalizan a medida que aumentan el número de parámetros (Nikita *et al.*, 2022).

Varios autores (Costa *et al.*, 2016; García *et al.*, 2016; Tlaxcala-Méndez *et al.* 2016; Guzmán-Santiago *et al.*, 2020) coinciden en que la función de *Schumacher-Hall* garantiza estimaciones precisas para varias especies tropicales. Sin embargo, para *A. leiocarpa* en los dos tipos de bosque analizados, los mejores modelos para estimar el volumen fustal fueron *Takata* y *Spurr* con término independiente. Aunque la ecuación de *Schumacher-Hall* en los sitios evaluados estuvo entre los seis mejores modelos, lo cual concuerda con lo señalado en diversos estudios (Costa *et al.*, 2016; Tlaxcala-Méndez *et al.*, 2016; Guzmán-Santiago *et al.*, 2020).

Investigaciones sobre ecuaciones alométricas específicas para volumen de *A. leiocarpa* son similares al obtenido en el presente estudio. Por ejemplo, Midsma (2001) en Argentina indica que el modelo con mejor ajuste fue el de *Spurr*, en cambio, en el estudio de bosque en colina baja fue el segundo mejor, mientras que en el de terraza baja el modelo de *Spurr* con termino independiente fue el mejor. Sin embargo, Souza *et al.* (2021) determinaron en la Amazonía brasileña que el modelo de *Husch* fue mejor. Estas diferencias podrían deberse a que en el estudio

de Souza *et al.* (2021) utilizaron modelos con variables transformadas mediante logaritmos, además de que en los bosques donde colectaron su información existe la presencia dominante de especies del género *Guadua*.

Al comparar los valores de la *RCME* y del *CME* generados por los modelos en cada tipo de bosque, se identificó que fueron menores en el bosque de colina baja. Estas diferencias responden a las diferentes condiciones de sitio a las que están sometidos los árboles de *A. leiocarpa*. En particular, para la estimación del volumen comercial es importante considerar que la misma especie tiene una respuesta diferente en su crecimiento conforme cambian las condiciones de sitio (Molina-Valero *et al.*, 2019; Mendes *et al.*, 2020), efecto que se refleja en las dimensiones que alcanzan los fustes en cada condición de bosque. Por ejemplo, a pesar de que el promedio de *DAP* del fuste de *A. leiocarpa* fue similar en ambos bosques (86.55 cm en bosque de colina baja y 87.85 cm en bosque de terraza baja), los árboles del bosque de terraza baja tuvieron una mayor altura fustal que los de colina baja. Esa diferencia se relaciona con las variaciones en la fisiografía, además de que los bosques de colina son más irregulares y suelen presentarse en pendientes más pronunciadas, a diferencia de los bosques de terraza baja (Velioğlu *et al.*, 2023); lo cual afectaría la disponibilidad de agua, elemento clave para el crecimiento (Rachid-Casnati *et al.*, 2019).

Con relación a la comparación en la estimación de volumen entre los mejores modelos alométricos y los obtenidos con los factores de forma según el tipo de bosque, se observó que en el de colina baja, el valor de la *RCME* de 16.15 con la ecuación de *Takata* fue menor al obtenido con el factor de forma de 19.37, lo que significa 16.6 % menos. En el bosque de terraza baja los valores de volumen estimado con el *CM* arrojan una *RCME* de 41.11, el cual es 54.7 % mayor que el obtenido con el modelo de *Spurr* con término independiente de 18.61. Este análisis sugiere que las ecuaciones específicas son mejores para la estimación de volumen fustal que el uso del *CM*. Además, para minimizar los errores al estimar el volumen

fustal en cada tipo de bosque, deberían de considerarse las variaciones de espesor de corteza, así como el espesor y proporción de albura y duramen.

Algunas limitaciones de este estudio son que sus resultados se acotan únicamente a dos condiciones de bosque en la región Madre de Dios en Perú, lo que afecta a la generalización de su aplicación a otras ecorregiones. Por otra parte, se analizó un tamaño de muestra reducido en cada condición de bosque debido a una baja densidad de individuos por unidad de superficie, además, no se tuvo información de un intervalo completo de categorías diamétricas ni de alturas, porque solo se midieron ejemplares de *A. leiocarpa* de tipo comercial, en el que por normatividad forestal del Gobierno de Perú se ha establecido un diámetro mínimo de corta de 41 cm para aprovechamiento maderable. Estos aspectos, si bien restringen la aplicabilidad de los resultados, también proporcionan perspectivas para una comprensión más profunda sobre el factor de forma y promueve el uso de modelos alométricos para la estimación de volumen en la Amazonía peruana. En futuros estudios se recomienda incluir en el análisis más tipos de bosque, aumentar el tamaño de muestra y utilizar métodos no destructivos para considerar a individuos con *DAP* menores a 40 cm.

Conclusiones

El coeficiente mórfico de árboles de *Apuleia leiocarpa* que crecen en la provincia Tambopata, región Madre de Dios de Perú es significativamente superior en el bosque de colina baja ($CM=0.88$) que en el bosque de terraza baja ($CM=0.79$). No hay diferencias significativas para el espesor y proporción de albura y duramen

entre los dos tipos de bosque. Para el bosque de colina baja, solo hay relación significativa entre el diámetro y el espesor de duramen, mientras que en el bosque de terraza baja, el diámetro se correlaciona de forma significativa con la proporción de albura, el espesor de duramen y la proporción de duramen. El mejor modelo alométrico para estimar el volumen varía según el tipo de bosque, en el bosque de colina baja fue el modelo de *Takata* y en el bosque de terraza baja fue el modelo de *Spurr* con término independiente.

Agradecimientos

A Fredy Turpo Cama y Maritza Callo Ccorca, propietarios de las concesiones evaluadas por las facilidades de acceso para el desarrollo del presente estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Jorge Garate-Quispe: conceptualización-ideas, curación de datos, análisis formal, supervisión, redacción del manuscrito original; Lili Florez-Castillo: conceptualización-ideas, investigación, metodología, visualización, redacción, revisión y corrección del manuscrito.

Referencias

- Aguilar R., C. A., A. F. Sequeira G. y E. J. Peralta T. 2017. Factor de forma para la *Tectona grandis* L.F, empresa MLR-Forestal, Siuna, Costa Caribe Norte de Nicaragua. *Ciencia e Interculturalidad* 21(2):74-84. Doi: 10.5377/rci.v21i2.5602.
- Aye, T. N., A. Brännström and L. Carlsson. 2022. Prediction of tree sapwood and heartwood profiles using pipe model and branch thinning theory. *Tree Physiology* 42(11):2174-2185. Doi: 10.1093/treephys/tpac065.
- Berger, P. D., R. E. Maurer and G. B. Celli. 2018. Experimental design, with application in management, engineering, and the sciences. Springer. Boston, MA, United States of America. 639 p.
- Berrill, J. P., K. L. O'Hara and N. E. Kichas. 2020. Bark thickness in coast redwood (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.) varies according to tree-and crown size, stand structure, latitude and genotype. *Forests* 11(6):637. Doi: 10.3390/f11060637.
- Bowman, K. W., S. A. Dale, S. Dhanani, J. Nehru and B. T. Rabishaw. 2022. The degradation of the Amazon rainforest: Regional and global climate implications. In: Ongoma, V. and H. Tabari (Eds.). *Climate Impacts on Extreme Weather. Current to Future Changes on a local to Global Scale*. Elsevier. Amsterdam, NH, Netherlands. pp. 217-234.
- Colgan, M. S., T. Swemmer and G. P. Asner. 2014. Structural relationships between form factor, wood density, and biomass in African savanna woodlands. *Trees* 28:91-102. Doi: 10.1007/s00468-013-0932-7.
- Costa C., V., S. do Amaral M., A. Libanio P., A. Figueiredo F. and E. Urbano. 2016. Modeling of the commercial volume stock in an ombrophilous forest in the Southwest of the Amazon. *Cerne* 22(4):457-464. Doi: 10.1590/01047760201622032204.
- de Azevêdo, T. K. B., J. B. Paes, L. Calegari y J. W. B. do Nascimento. 2014. Relações entre volume e massa da madeira e casca de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*). *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 9(1):97-102. Doi:

10.5039/agraria.v9i1a3066.

Del Mar, M. 2021. *Lineamientos para la elaboración del Plan Operativo para concesiones forestales con fines maderables*. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Diario Oficial del Bicentenario El Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-los-lineamientos-para-la-evaluacion-del-plan-gener-resolucion-no-d000034-2021-midagri-serfor-de-1932808-2/>. (15 de noviembre de 2022).

Fan, G., W. Feng, F. Chen, D. Chen, Y. Dong and Z. Wang. 2020. Measurement of volume and accuracy analysis of standing trees using Forest Survey Intelligent Dendrometer. *Computers and Electronics in Agriculture* 169:105211. Doi: 10.1016/j.compag.2020.105211.

Fuentes, E., C. Gómez, D. Pizarro, J. Alegre, ... and H. Vásquez. 2022. A review of silvopastoral systems in the Peruvian Amazon region. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 10(2):78-88. Doi: 10.17138/tgft(10)78-88.

Furlan G., F., J. R. dos Santos and J. C. Mura. 2010. *Eucalyptus* biomass and volume estimation using interferometric and polarimetric SAR data. *Remote Sensing* 2(4):939-956. Doi: 10.3390/rs2040939.

García E., G. G., J. J. García M., J. Hernández R., H. J. Muñoz F., X. García C. y A. Hernández R. 2016. Precisión de los coeficientes y cocientes de forma en la estimación del volumen de *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(35):19-36. Doi: 10.29298/rmcf.v7i35.72.

Guzmán-Santiago, J. C., O. A. Aguirre-Calderón and B. Vargas-Larreta. 2020. Forest volume estimation techniques with special emphasis on the tropics. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 26(2):291-306. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2019.07.061.

Ikonen, V. P., S. Kellomäki, H. Väisänen and H. Peltola. 2006. Modelling the distribution of diameter growth along the stem in Scots pine. *Trees* 20:391-402. Doi: 10.1007/s00468-006-0053-7.

InfoStat. 2022. InfoStat (v2022). IS InfoStat Software estadístico. Córdoba, Cba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>. (15 de noviembre de 2022).

Inpixon. 2022. SigmaPlot (v14). Palo Alto, Ca, United States of America. Inpixon Systat Software Inc. <https://systatsoftware.com/>. (15 de noviembre de 2022).

Kang, H., X. Wen, X. Deng, L. Chen and F. Xiao. 2021. Heartwood and sapwood variation and development in chenshan red-heart chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook). *Forest Products Journal* 71(4):299-308. Doi: 10.13073/FPJ-D-21-00034.

Lozano B., L. A. y J. L. Bonilla V. 2022. Factor de forma para árboles del bosque seco tropical (bs-T) en el norte del Departamento del Tolima-Colombia. *Revista Temas Agrarios* 27(2):344-353. Doi: 10.21897/rta.v27i2.3136.

Malata H., E. S. Ngulube and E. Missanjo. 2017. Site specific stem volume models for *Pinus patula* and *Pinus oocarpa*. *International Journal of Forestry Research* 2017:1-6. Doi: 10.1155/2017/3981647.

Mendes N., R. G., J. K. Vanclay, A. Figueiredo F., S. do Amaral M., ... and L. J. Mazzei de Freitas. 2020. The tree height estimated by non-power models on volumetric models provides reliable predictions of wood volume: The Amazon species height modelling issue. *Trees, Forests and People* 2:100028. Doi: 10.1016/j.tfp.2020.100028.

Meunpong, P., C. Penboon, N. Kuasakun and C. Wachrinrat. 2021. Tree dimension and environmental correlates of heartwood content in Siamese rosewood (*Dalbergia cochinchinensis*). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 22(6):3297-3303. Doi: 10.13057/biodiv/d220635.

Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente (Midsma). 2001. Primer inventario nacional de bosques nativos. Proyecto bosques nativos y áreas protegidas BIRF 4085-AR 1998-2001 República Argentina. Manual de análisis de fustes. Midsma y Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental. Buenos Aires, BA, Argentina. 39 p.

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_analisis_de_fustes_0.pdf. (15 de noviembre de 2022).

Ministerio del Ambiente (Minam). 2015. Mapa Nacional de Cobertura Vegetal: memoria descriptiva. Ministerio del Ambiente. Lima, LMA, República del Perú. 108 p. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/178>. (15 de noviembre de 2022).

Miranda L., F., R. G. Mendes N., F. Emmert, G. G. Alves S., N. A. Moraes C. and I. Souza M. 2021. How many trees are necessary to fit an accurate volume model for the Amazon forest? A site-dependent analysis. *Forest Ecology and Management* 480:118652. Doi: 10.1016/j.foreco.2020.118652.

Molina-Valero, J. A., U. Diéguez-Aranda, J. G. Álvarez-González, F. Castedo-Dorado and C. Pérez-Cruzado. 2019. Assessing site form as an indicator of site quality in even-aged *Pinus radiata* D. Don stands in north-western Spain. *Annals of Forest Science* 76(4):113. Doi: 10.1007/s13595-019-0904-1.

Nikita, S., G. Thakur, N. G. Jesubalan, A. Kulkarni, V. B. Yezhuvath and A. S. Rathore. 2022. AI-ML applications in bioprocessing: ML as an enabler of real time quality prediction in continuous manufacturing of mAbs. *Computers and Chemical Engineering* 164:17896. Doi: 10.1016/j.compchemeng.2022.107896.

Ogana, F. N., S. Corral-Rivas and J. J. Gorgoso-Varela. 2020. Nonlinear mixed-effect height-diameter model for *Pinus pinaster* Ait. and *Pinus radiata* D. Don. *Cerne* 26(1):150-161. Doi: 10.1590/01047760202026012695.

Pacheco R., D. y C. Vásquez V. y Y. Gallardo V. 2016. Anuario forestal 2015. Ministerio de Agricultura y Riego y Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor). Lima, LMA, República del Perú. 213 p. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/peru-forestal-numeros-2015>. (15 de noviembre de 2022).

Piqueras, S., S. Füchtner, R. R. de Oliveira, A. Gómez-Sánchez, ... and L. G. Thygesen. 2019. Understanding the formation of heartwood in larch using

synchrotron infrared imaging combined with multivariate analysis and atomic force microscope infrared spectroscopy. *Frontiers in Plant Science* 10:1701. Doi: 10.3389/fpls.2019.01701.

R Core Team. 2022. The R Project for Statistical Computing, R: A language and environment for statistical computing (v4.2.2). Vienna, W, Austria. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>. (15 de noviembre de 2022).

Rachid-Casnati, C., E. G. Mason and R. C. Woollons. 2019. Using soil-based and physiographic variables to improve stand growth equations in Uruguayan forest plantations. *iForest-Biogeosciences and Forestry* 12(3):237-245. Doi: 10.3832/ifor2926-012.

Reis C., L. R., C. J. Fonseca D., J. D. Zea-Camaño, R. Silva O., A. L. Pelissari y M. N. Martins M. 2020. Variabilidad espacial de *Swietenia macrophylla* en sistema agroforestal de la Amazonia brasileña. *Madera y Bosques* 26(1):1-14. Doi: 10.21829/myb.2020.2611937.

Rojas B., N. B., D. A. Cotrina S., E. Barboza C., M. Á. Barrena G., ... and R. Salas L. 2020. Current and future distribution of five timber forest species in Amazonas, northeast Peru: Contributions towards a restoration strategy. *Diversity* 12(8):305. Doi: 10.3390/d12080305.

Souza de L., Q., T. A. da Cunha, M. A. Amaro, E. O. Figueiredo y P. R. Feitosa P. 2021. Volume estimate for three timber species with commercial interest from the diameter of the stump. *Floresta* 51(3):776-784. Doi: 10.5380/rf.v51i3.72945.

Tamarit U., J. C., H. M. De los Santos P., A. Aldrete, J. R. Valdez L., H. Ramírez M. y V. Guerra De la C. 2014. Sistema de cubicación para árboles individuales de *Tectona grandis* L. f. mediante funciones compatibles de ahusamiento-volumen. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(21):58-74. Doi: 10.29298/rmcf.v5i21.358.

Tito, R., N. Salinas, E. G. Cosio, T. E. Boza E., ... and R. M. Roman-Cuesta. 2022. Secondary forests in Peru: differential provision of ecosystem services compared to other post-deforestation forest transitions. *Ecology and Society* 27(3):12. Doi:

10.5751/ES-13446-270312.

Tlaxcala-Méndez, R. M., H. M. de los Santos-Posadas, P. Hernández-de la Rosa y J. L. López-Ayala. 2016. Variación del factor de forma y el ahusamiento en procedencias de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.). *Agrociencia* 50(1):89-105. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30243765007>. (15 de noviembre de 2022).

Velioğlu, E., S. T. Güner, H. Karakurt, Y. Taştan, Z. Yavuz and D. Tuğrul. 2023. Relationships between site index and ecological variables of trembling poplar forests (*Populus tremula* L.) in Türkiye. *Environmental Monitoring and Assessment* 195(2):308. Doi: 10.1007/s10661-023-10933-3.

Yang, B., H. Jia, Z. Zhao, S. Pang and D. Cai. 2020. Horizontal and vertical distributions of heartwood for teak plantation. *Forests* 11(2):225. Doi: 10.3390/f11020225.

Zhang, B., S. Sajjad, K. Chen, L. Zhou, ... and Y. Sun. 2020. Predicting tree height-diameter relationship from relative competition levels using quantile regression models for chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) in Fujian Province, China. *Forests* 11(2):183. Doi: 10.3390/f11020183.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.